



ผลของการใช้ผงบุกเป็นสารทดแทนไขมันต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาของไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าว

The Effect of Using Konjac Powder as a Fat Replacer on the Quality and Shelf Life of Emulsion Sausages from Rice Protein

อุมพพร มีเดช¹, นองนุช ศิริวงศ์^{1*}, เยาวภา ไหวพริบ^{2,3}

¹ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

²ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

³ศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อการเกษตรและอาหาร สถาบันวิทยาการขั้นสูงแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร 10900

Oumaporn Meedech¹, Nongnuch Siri Wong^{1*}, Yaowapha Waiprib^{2,3}

¹Department of Home Economics, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900

²Department of Fishery Products, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok 10900

³Center for Advanced Studies for Agriculture and Food (CASAF), Kasetsart University Institute for Advanced Studies, Kasetsart University, Bangkok 10900

Received 5 December 2024; Received in revised 20 February 2025; Accepted 24 February 2025

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

This study aimed to investigate the effects of using konjac powder as a fat replacer on the quality and shelf life of emulsion sausages made from rice protein. Rice bran oil was substituted with a konjac powder-water mixture (pH 12) at four levels: 0% (control), 25%, 35%, and 45%. The results revealed that the emulsion sausage samples prepared with 64% konjac powder by weight of rice bran oil had the lowest fat content and water holding capacity (WHC), while protein and ash content had the lowest values ($p \leq 0.05$). All samples showed no significant differences ($p > 0.05$) in L^* , a^* , b^* color values, water activity, folding test scores, texture characteristics, pH, and sensory evaluation results. When the emulsion sausage samples prepared with 64% konjac powder by weight of rice bran oil were stored at 4°C for 30 days, they exhibited a pale color, increased hardness and shear force, and a rise in separated water content to 2.75%. *Salmonella* spp. was not detected, and the levels of *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, and *Clostridium perfringens* remained within the acceptable limits for ready-to-eat, cooked refrigerated food products.

คำสำคัญ

โปรตีนข้าว;
ไส้กรอกอิมัลชัน;
ผงบุก;
การทดสอบทางประสาทสัมผัส

Keywords

Rice protein;
Emulsion sausages;
Konjac powder;
Sensory evaluation

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้บุกเป็นสารทดแทนไขมันต่อคุณภาพและอายุการเก็บรักษาไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าว โดยใช้ผงบุกผสมน้ำ (pH12) ทดแทนปริมาณน้ำมันรำข้าว 4 ระดับ ได้แก่ ร้อยละ 0 (Control) 25 35 และ 45 ตามลำดับ พบว่าตัวอย่างไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวที่ใช้ผงบุกผสมน้ำ (pH12) ร้อยละ 45 โดยน้ำหนักของน้ำมันรำข้าว มีปริมาณไขมันและค่าความสามารถอุ้มน้ำต่ำสุด ในขณะที่ปริมาณโปรตีนและค่า pH และผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) เมื่อเก็บรักษาตัวอย่างไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวที่ลดปริมาณน้ำมันรำข้าวร้อยละ 45 ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน พบว่า ไส้กรอกมีสีจางลง ค่าความแข็งและแรงดัดขาดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่แยกออกจากตัวอย่างเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.75 ไม่พบ *Salmonella* spp. ส่วนปริมาณ *Staphylococcus aureus* *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* ไม่เกินค่ามาตรฐานของผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภค กลุ่มอาหารปรุงสุกแช่เย็น

*ผู้รับผิดชอบบทความ: nongnuch.si@ku.th

DOI: 10.14456/tstj.2025.27

1. บทนำ

ตลาดไส้กรอกจากโปรตีนพืช (Plant-based sausages) มีแนวโน้มที่จะมีมูลค่าถึง 12,936.9 ล้านเหรียญสหรัฐภายในปี พ.ศ. 2576 [1] ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ตลาดไส้กรอกจากโปรตีนพืชมีการเติบโต ได้แก่ การเพิ่มจำนวนของผู้บริโภคมังสวิรัต (Vegans) และผู้บริโภคมังสวิรัตแบบยืดหยุ่น (Flexitarians) ผู้บริโภคให้ความสนใจในเรื่องสุขภาพ สิ่งแวดล้อมและสวัสดิภาพสัตว์ (Animal welfare) [2,3] โปรตีนส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในการผลิต ได้แก่ โปรตีนถั่วเหลือง เนื่องจากมีกรดอะมิโนคุณภาพสูง ราคาไม่แพง และเนื้อสัมผัสคล้ายเนื้อสัตว์หลังการแช่น้ำ [4] แต่ขณะเดียวกันโปรตีนถั่วเหลืองเป็นสารอาหารที่ก่อให้เกิดอาการแพ้ที่สำคัญ ส่งผลให้ปัจจุบันผู้ประกอบการและนักวิจัยจึงให้ความสนใจกับโปรตีนพืชชนิดอื่นที่ไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ไม่มีกลิ่นรสแล้วเพื่อนำมาใช้แทนโปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนข้าวผลิตจากเศษเหลือจากกระบวนการผลิตข้าว [5] โปรตีนข้าวมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ถูกย่อยและดูดซึมเข้าสู่ผนังลำไส้ได้ง่าย [6] ปราศจากกลีตารส ไม่ก่อให้เกิดภูมิแพ้ [7] ไม่มีคอเลสเตอรอล [8] มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและต้านมะเร็ง โดยจะไปช่วยเพิ่มปริมาณเอนไซม์ที่ใช้ในการกำจัดอนุมูลอิสระ (Antioxidant enzymes) [9,10] โปรตีนข้าวและโปรตีนข้าวไฮโดรไลเซตถูกใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด เช่น ฟิล์มที่บริโภคได้ ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ ปลอตกูเดน สารพากลีตารสและผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสำหรับนักกีฬา [11] เป็นต้น แต่ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกจากโปรตีนพืชซึ่งมีทั้งไส้กรอกประเภทบดหยาบและบดละเอียดเป็นอิมัลชันยังมีการศึกษาที่จำกัด เนื่องจากโปรตีนข้าวละลายน้ำได้ดีในสภาวะที่เป็นกลาง ส่งผลให้สมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์และการเกิดเจลต่ำไปด้วย ซึ่งทั้งสองคุณสมบัตินี้มีความสำคัญอย่างยิ่งในการผลิตไส้กรอกอิมัลชัน ดังนั้นจึงต้องมีการนำไฮโดรคอลลอยด์ที่มีสมบัติการเกิดเจลแบบไม่ผันกลับด้วยความร้อนมาช่วยให้ไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวเซตตัวได้

บุกผลิตจากพืชสกุล *Amorphophallus konjac* ประกอบด้วยพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นสารประกอบกลูโคแมนแนนร้อยละ 30-50 [12] บุกจัดเป็นใยอาหาร (Dietary fiber) ที่สามารถละลายน้ำได้และดูดน้ำได้ถึง 100 เท่า [13] มีสมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์สารให้ความข้นหนืด สารก่อเจล ช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสและช่วยในการจับกับน้ำ [14,15,16] นิยมนำมาใช้เป็นสารทดแทนไขมันในผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์ไขมันต่ำและปราศจากไขมัน โดยปกติไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าว นั้นไม่เซตตัว ดังนั้นการนำบุกซึ่งสามารถเกิดเจลแบบไม่ผันกลับด้วยความร้อนภายใต้สภาวะต่างอ่อนและการให้ความร้อน [17] โดยทั่วไปไขมันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการผลิตไส้กรอกอิมัลชันเนื่องจากช่วยเพิ่มความชุ่มฉ่ำ น้ำ ความนุ่ม และความน่ารับประทานโดยรวม ความคงตัวของความชื้นและการจับตัวของไขมันในเมทริกซ์โปรตีนเจล (Gel protein matrix) [18] แต่การบริโภคอาหารที่มีไขมันสูงเป็นหนึ่งในปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง (NCDs) เช่น โรคหัวใจและหลอดเลือด โรคเบาหวาน โรคความดันโลหิต โรคกระดูก เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันพบว่าโรคไม่ติดต่อเรื้อรังเป็นสาเหตุสำคัญของการเสียชีวิตทั่วโลก [19] ส่งผลให้ผู้บริโภคกังวลเกี่ยวกับความเสี่ยงของการเกิดโรคเหล่านี้จากการบริโภคอาหารไขมันสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารที่มีไขมันอิ่มตัว [20] ดังนั้นผงบุกที่ใช้ นอกจากจะช่วยให้ไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวเซตตัวได้ยังสามารถเป็นสารทดแทนไขมันได้อีกด้วย ผู้วิจัยจึงมีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาผลของการใช้ผงบุกเป็นสารทดแทนไขมันในการผลิตไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวเพื่อเป็นผลิตภัณฑ์ทางเลือกให้กับผู้บริโภคอาหารมังสวิรัตหรือผู้บริโภคทั่วไป

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 วัตถุดิบ

ผงโปรตีนข้าว (โปรตีนมากกว่าร้อยละ 80) จาก บริษัท UniFy Chemical Co., Ltd. (Nonthaburi, Thailand) ผงบุก จากบริษัทกรุงเทพเคมี จำกัด น้ำมันรำข้าว โซเดียมคาร์บอเนต เครื่องเทศและผงปรุงรส และ สีปาปริก้าโอเรซิน จากบริษัท TCS Pacific, Ltd.

2.2 ศึกษาผลของการลดไขมันในการผลิตไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าว

2.2.1 การเตรียมไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าว

ผลิตไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าว โดยการใช้ ผงบุกผสมน้ำที่ปรับค่า pH 12 (น้ำเปล่า 1000 มิลลิลิตร ผสมกับโซเดียมคาร์บอเนต 10.59 กรัม) ทดแทนปริมาณ น้ำมันรำข้าว 4 ระดับ คือ ร้อยละ 0 (Control) 25 35 และ 45 ตามปริมาณส่วนผสมดัง Table 1

Table 1 The formulations of rice protein-based emulsion sausage

Ingredients	Content (%)			
	T1 (Control)	T2	T3	T4
Rice protein powder	8.28	8.28	8.28	8.28
Water (pH12)	70.99	73.50	74.51	75.51
Rice bran oil	10.05	7.54	6.53	5.53
Konjac powder	3.55	3.55	3.55	3.55
Spice and seasoning powder	7.11	7.11	7.11	7.11
Paprika oleoresin	0.02	0.02	0.02	0.02
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00

T1 = Combination of 3.55% Konjac powder and 70.99% water (pH12), replacing rice bran oil 0%

T2 = Combination of 3.55% Konjac powder and 73.50% water (pH12), replacing rice bran oil 25%

T3 = Combination of 3.55% Konjac powder and 74.51% water (pH12), replacing rice bran oil 35%

T4 = Combination of 3.55% Konjac powder and 75.51% water (pH12), replacing rice bran oil 45%

โดยมีขั้นตอนการผลิตดังนี้ ผสมน้ำ (pH12) ผงโปรตีนข้าว เครื่องเทศและผงปรุงรสและสีปาปริก้าโอเรซิน ให้เข้ากันเป็นเวลา 2 นาที เติมน้ำมันรำข้าว ผสมต่อให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องเตรียมอาหาร (Tefal doubleforce multifunction food processor model DO821838) ความเร็วเบอร์ 1 ใส่ผงบุกลงไป ผสมต่อเป็นเวลา 1 นาที พักทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที บรรจุลงในไส้เซลลูโลสเบอร์ 21 นำไปให้ความร้อนโดยการต้มที่อุณหภูมิ 85-89 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที พักไว้ให้เย็น บรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิด PET/PE แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4±2 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพ

2.2.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

1) ค่าสีของไส้กรอกวัดโดยเครื่องวัดค่าสี (Colorimeter) (ยี่ห้อ Hunterlab, รุ่น ColorQuest XE, ประเทศสหรัฐอเมริกา) รายงานผลเป็นค่าความสว่าง (L*) ค่าความเป็นสีแดง (a*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b*)

2) ปริมาณน้ำอิสระ (A_w) ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณน้ำอิสระ (ยี่ห้อ Aqua Lab รุ่น Model Series 4 TE ประเทศสหรัฐอเมริกา)

3) ความสามารถในการอุ้มน้ำ (% Water holding capacity; WHC) ดัดแปลงวิธีการจาก

Feng (2022) [21] โดยชั่งน้ำหนักตัวอย่างไส้กรอกสุก 1.5 กรัม (M_1) บนกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนัก จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 1,500 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง นำกระดาษกรองหลังเหวี่ยงมาชั่งน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (M_2) ทำการทดสอบทั้งหมด 3 ซ้ำ และคำนวณค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ) = $M_1/M_2 \times 100$

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (ร้อยละ) = $M_1/M_2 \times 100$

4) การสูญเสียน้ำหนักหลังการทำสุก (Cooking loss; CL) ตามวิธีการของ Jommark et al., 2020 [22]

5) การพับ (Folding test) ตามวิธีการของ Kamani et al., 2019 [23] โดยตัดตัวอย่างตามขวางหนา 3 มิลลิเมตร แล้วพับครึ่ง และพับครึ่งต่ออีกครั้ง และคงไว้นาน 5 วินาที ตรวจสอบการแตกของตัวอย่าง แล้วให้คะแนนตาม โดยใช้ Five-point grade system

6) ลักษณะเนื้อสัมผัส แบบ Texture profile analysis (TPA) โดยใช้หัววัดทรงกระบอก (Cylinder probe) เส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร (P50) ตั้งค่าการกดเป็นระยะทาง ร้อยละ 50 ของความสูงในการกดสองครั้ง ด้วยความเร็วคงที่ 5 มิลลิเมตรต่อวินาที ตัวอย่างละ 10 ซ้ำ ประมวลผลข้อมูลเป็นค่าความแน่นแข็ง (Hardness) ค่าความสามารถในการยึดเกาะกัน (Cohesiveness) ค่าความยืดหยุ่น (Springiness) ตัดแปลงวิธีจาก Kamani et al. (2019) [23]

7) ค่าแรงตัดขาด (Shear force) โดยใช้ใบมีด Warner braztler blade ตั้งค่าแรงสูงสุด 50 กิโลกรัม ด้วยความเร็วคงที่ 1.5 มิลลิเมตรต่อวินาที Post-test speed 10 มิลลิเมตรต่อวินาที ตั้งค่าการกดเป็นระยะทาง 65 มิลลิเมตร ทำการวัด 10 ซ้ำ บันทึกค่า Maximum peak force; Firmness (กรัม) ตัดแปลงวิธีจาก Noguerol et al. (2022) [24]

2.2.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2000) [25] ค่า pH วัดแปลงจาก Majzoubi et al. (2017) [26]

2.2.4 การวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

นำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวที่ถูเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส มาทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างก่อนการทดสอบดังนี้ นำผลิตภัณฑ์ไส้กรอกพีชจากโปรตีนข้าวและผงบุกลดไขมันมาลวกในน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำขึ้นมาพักให้เย็น ตัดเป็นท่อนยาวท่อนละ 3 เซนติเมตร แล้วนำไปทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีให้คะแนนความชอบ (9-Point hedonic scale) ด้านลักษณะปรากฏ สี ความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่น ความฉ่ำน้ำ กลิ่นรส รสชาติและความชอบโดยรวม โดยผู้บริโภคร่วมไปจำนวน 50 คน โดยได้รับการรับรองจาก Kasetsart University Ethics Committee (KUREC) ตามหนังสือรับรองเลขที่ COE No. COE65/114

2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวระหว่างการเก็บรักษา

นำไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวที่เป็นที่ยอมรับทางประสาทสัมผัสจากข้อ 2.2 บรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกชนิด PET/PE แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 วัน สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวออกมาวิเคราะห์คุณภาพด้านต่าง ๆ ในวันที่ 0 5 10 15 20 25 และ 30 ทำการวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

2.3.1 คุณภาพทางกายภาพ

1) ค่าสี ปริมาณน้ำอิสระ การพับ ลักษณะเนื้อสัมผัส แบบ Texture profile analysis (TPA) ค่าแรงตัดขาดตามวิธีการข้อ 2.2.2

2) ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกจากตัวอย่างตัดแปลงวิธีการของ Normah and Nur Syuhadah (2019) [27] โดยมีวิธีการดังนี้ นำไส้กรอกออกจากตู้เย็นที่ทำการเก็บรักษา นำไส้กรอกที่รู้น้ำหนักแน่นอน (W_i) ออกจากบรรจุภัณฑ์ ซับให้แห้งด้วยกระดาษทิชชูเพื่อกำจัดของเหลวออกจากพื้นผิวของตัวอย่าง จากนั้นบันทึกน้ำหนักของไส้กรอกภายหลังการเก็บรักษา (W_f) และปริมาณน้ำที่แยกตัวออกจากตัวอย่างจะคำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักเริ่มต้นดังสมการ

$$\text{Purge loss (ร้อยละ)} = \frac{(W_i - W_f)}{W_i} \times 100$$

2.3.2 คุณภาพทางเคมี

1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH Value) ตามวิธีการข้อ 2.2.3

2) ระดับการเกิด Oxidative rancidity โดยการวัดค่า TBA (Thiobarbituric acid) โดยส่งวิเคราะห์ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2.3.3 คุณภาพทางจุลินทรีย์

ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยส่งวิเคราะห์ที่บริษัท ศูนย์ห้องปฏิบัติการและวิจัยทางการแพทย์และการเกษตรแห่งเอเชียจำกัด (มหาชน)

2.3.4 คุณภาพทางประสาทสัมผัส

สุ่มตัวอย่างผลิตภัณฑ์ไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวในวันที่ 15 เพื่อทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส เปรียบเทียบกับวันที่ 0 โดยใช้วิธีการทดสอบเดียวกับข้อ 2.2.4

2.4 สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพและเคมีมาวิเคราะห์ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete randomize design, CRD) และข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ตามแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์

(Randomized complete block design; RCBD) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี DMRT (Duncan's new multiple range test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

3.1 ผลของการลดไขมันในการผลิตไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าว

3.1.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

ตัวอย่างไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวลดไขมันทั้ง 4 ระดับ แสดงดัง Figure 1 จากการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพดัง Table 2 พบว่า ค่า L^* ค่า a^* ค่า b^* ค่า A_w และคะแนนการพับของตัวอย่าง T1-T4 มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยค่า L^* a^* และ b^* มีค่าอยู่ในช่วง 56.61-57.56, 23.14-24.48 และ 39.82-42.03 A_w มีค่า 0.97 และคะแนนการพับเท่ากับ 5 โดยตัวอย่าง T1-T4 ไม่มีรอยแตกเมื่อถูกพับสองครั้ง (สี่ส่วน) จะเห็นได้ว่าการลดไขมันไม่ส่งผลต่อคะแนนการพับของไส้กรอก คะแนนการพับบ่งบอกถึงความแข็งแรงของเจล เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วในการทำนายคุณภาพเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เจลคอมโพสิต (Gel composite products) เช่น ไส้กรอก ลูกชิ้น เป็นต้น [28, 29] ค่า WHC ของตัวอย่าง T1 T2 และ T3 มีค่าสูงสุดไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และ T4 มีค่า WHC ต่ำกว่าตัวอย่าง T1 และ T2 เนื่องจากในการผลิตไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวครั้งนี้อาศัยคุณสมบัติของผงบุกในการเกิดเจลแบบไม่ผันกลับด้วยความร้อน โดยการให้ความร้อนแก่ส่วนผสมภายใต้สภาวะต่าง (pH 9-12) จึงต้องมีการใช้น้ำ pH12 เพื่อให้ผงบุกช่วยในการกักเก็บน้ำในโครงสร้างเจล [30] ดังนั้นเมื่อมีการทดแทนไขมันด้วยน้ำ pH12 ผสมผงบุก จึงทำให้ความเข้มข้นของบุกลดลงส่งผลให้ค่า WHC ลดลง สอดคล้องกับการทดลองเบื้องต้นพบว่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ผงบุกสามารถอุ้มน้ำได้ในการผลิตไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวคือร้อยละ 71.11-

72.83 ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการยืดเกาะกันและค่าแรงดัดขาดของตัวอย่าง T1, T2, T3 และ T4 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p>0.05$) (Table 3) เห็นได้ว่าการลดไขมันถึงร้อยละ 45 ไม่ส่งผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าว

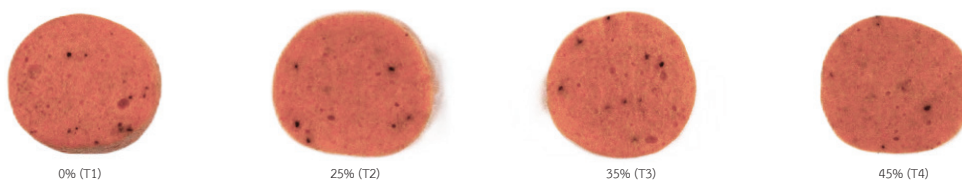


Figure 1 The reduced-fat rice protein-based sausage

Table 2 Physical properties of the reduced-fat plant-based sausage from rice protein

Properties	Samples			
	T1	T2	T3	T4
L^{*ns}	57.56±0.37	57.02±0.80	56.61±0.12	56.79±0.97
a^{*ns}	23.56±0.82	23.86±0.06	23.14±0.11	24.48±0.65
b^{*ns}	41.05±1.03	40.48±0.03	39.82±0.79	42.03±1.17
A_w^{ns}	0.97±0.00	0.97±0.00	0.97±0.00	0.97±0.00
WHC (%)	91.55±0.89 ^a	91.87±0.61 ^a	90.31±0.27 ^{ab}	89.75±0.54 ^b
Folding test ^{ns}	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00	5.00±0.00

^{a-b}Means±SD in the same row followed by different superscripts are significantly different ($p\leq 0.05$)

^{ns}Means±SD in the same row are not significantly different ($p>0.05$)

Table 3 Textural properties of the reduced-fat plant-based sausage from rice protein

Properties	Samples			
	T1	T2	T3	T4
Hardness (g) ^{ns}	3,541.50±143.48	3,531.67±391.83	3,531.24±140.99	3,549.26±108.01
Springiness (mm) ^{ns}	0.81±0.00	0.82±0.01	0.81±0.02	0.83±0.01
Cohesiveness ^{ns}	0.68±0.01	0.68±0.00	0.68±0.00	0.69±0.01
Shear force (g) ^{ns}	2,612.88±82.73	2,690.58±81.34	2,698.15±56.72	2,698.02±1.85

^{ns}Means±SD in the same row are not significantly different ($p>0.05$)

3.1.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

จาก Table 4 พบว่า ปริมาณความชื้นของตัวอย่าง T2, T3 และ T4 มีค่าสูงกว่า T1 ($p \leq 0.05$) ปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นเป็นผลมาจากการเติมน้ำ pH12 ผสมผงบุกทดแทนน้ำมันรำข้าวในสูตร ซึ่งปริมาณความชื้นคือปริมาณน้ำทั้งหมดที่วิเคราะห์ได้ในผลิตภัณฑ์อาหาร [31] จึงส่งผลให้ไส้กรอกสูตรที่มีการลดน้ำมันรำข้าว (T2, T3 และ T4) มีค่าความชื้นสูงกว่าสูตรที่ไม่ลดน้ำมันรำข้าว (T1) ปริมาณโปรตีนของสูตร T4 สูงสุด ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อระดับการลดน้ำมันรำข้าวเพิ่มขึ้น อาจเนื่องมาจากสารละลายต่าง (น้ำ pH12) สามารถละลายโปรตีนรำข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการทำลายพันธะไฮโดรเจน พันธะเอไมด์ และพันธะไดซัลไฟด์ในโครงสร้างโปรตีน [32] ดังนั้นสูตรที่มีปริมาณน้ำ pH12 สูงกว่าจึงมีปริมาณโปรตีนมากกว่า ปริมาณไขมันของสูตร T4 มีค่าต่ำสุด ($p \leq 0.05$) ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันลงได้สูงสุดถึงร้อยละ 36 โดยสูตร T4 มีปริมาณไขมันร้อยละ 23.8 อยู่ในช่วงของไส้กรอกอิมัลชันทางการค้า 9 ตัวอย่าง (9.85-36.15) ที่ถูกวิเคราะห์ในการศึกษาเบื้องต้นปริมาณ

เถ้าของสูตร T4 มีปริมาณสูงสุด ($p \leq 0.05$) เนื่องจากเมื่อลดน้ำมันรำข้าว มีการเติมน้ำ pH12 ผสมบุกเข้ามาแทนที่ซึ่งน้ำ pH12 ที่ใช้เป็นส่วนผสมคือน้ำที่มีการปรับให้เป็นด่างด้วยโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อให้สภาวะของแบคทีเรียเป็นด่าง ซึ่งเป็นเงื่อนไขสำคัญของการเกิดเจลแบบไม่ผันกลับด้วยความร้อนของบุก ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มปริมาณของโซเดียมคาร์บอเนตที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่คงเหลือจากการเผาไหม้ตัวอย่างอาหาร จึงทำให้ปริมาณเถ้าสูงตามไปด้วย ค่า pH ของสูตร T1-T4 มีค่าอยู่ระหว่าง 9.92-10.06 ($p > 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Ran et al. (2022) [33] รายงานว่า ลูกชิ้นปลาจากโปรตีนถั่วเหลืองที่มีปริมาณบุงร้อยละ 3.5 5 6.5 และ 8 มีค่า pH ของแบคทีเรียอยู่ระหว่าง 9.91-10.01 เนื่องจากไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวมีเงื่อนไขในการผลิตคือแบคทีเรียต้องอยู่ในสภาวะด่างเพื่อการเกิดเจลแบบไม่ผันกลับของบุกที่จะช่วยให้ไส้กรอกเซตตัว จึงมีค่า pH ของผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์จากบุกอื่น ๆ เช่น เส้นบุก หรือบุกขึ้นซึ่งค่า pH อยู่ที่ 9.26 และ 9.24 ตามลำดับ

Table 4 Chemical properties of the reduced-fat rice protein-based sausage (dry basis)

Properties	Samples			
	T1	T2	T3	T4
Moisture content (%)	69.35±0.87 ^b	71.81±1.05 ^a	72.37±0.40 ^a	73.65±0.55 ^a
Protein content (%)	26.83±0.23 ^d	29.37±0.14 ^c	30.60±0.08 ^b	31.89±0.62 ^a
Fat content (%)	36.79±0.00 ^a	30.69±0.43 ^b	27.45±0.24 ^c	23.80±0.81 ^d
Ash content (%)	8.96±0.04 ^c	9.45±0.08 ^{bc}	9.82±0.13 ^{ab}	10.29±0.38 ^a
pH ns	9.92±0.05	9.99±0.07	10.08±0.04	10.06±0.10

^{a-d} Means±SD in the same row followed by different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns} Means±SD in the same row are not significantly different ($p > 0.05$)

3.1.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

คะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกด้านของไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวที่มีการลดไขมันทั้ง 4 ระดับ ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ดัง Table 5 โดยในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส รสชาติและความ

ชอบโดยรวมมีคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบปานกลาง ในขณะที่ด้านความแน่นเนื้อ ความยืดหยุ่นเมื่อเคี้ยวและความฉ่ำน้ำมีคะแนนความชอบในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก ดังนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกสูตร T4 ซึ่งมีปริมาณไขมันต่ำสุดเพื่อใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงระหว่างอายุการเก็บรักษาต่อไป

Table 5 Sensory characteristics of the reduced-fat rice protein-based sausage

Attributes	Samples			
	T1	T2	T3	T4
Appearancens	7.80±0.83	7.86±0.81	7.96±0.78	7.90±0.79
External colorns	7.94±0.93	7.88±0.85	7.90±0.89	7.92±0.90
Firmnessns	7.94±0.89	8.10±0.71	8.06±0.84	8.02±0.96
Springinessns	7.98±0.77	8.12±0.77	8.16±0.71	7.98±0.98
Juicinessns	7.84±0.77	7.90±0.71	8.08±0.78	7.74±1.01
Flavorns	7.44±0.91	7.30±0.81	7.40±0.97	7.24±0.80
Tastens	7.60±0.90	7.84±0.91	7.72±0.97	7.82±0.98
Overall likingns	7.86±0.70	7.94±0.77	7.94±0.77	7.80±0.99

^{ns}Means±SD in the same row are not significantly different ($p>0.05$)

3.2 ผลการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของไส้กรอกอิมัลชันจากโปรตีนข้าวลดไขมันระหว่างการเก็บรักษา

3.2.1 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

จาก Table 6 พบว่า ค่า L^* ของไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวตลอดอายุการเก็บรักษาไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ในขณะที่ค่า a^* และ b^* ของวันที่ 0 และ 5 มีค่าสูงสุด ($p\leq 0.05$) และลดลงตั้งแต่วันที่ 10 จนถึงวันที่ 30 โดยสีส้มแดงของไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวมาจากการเติมสีปาปริก้าโอเรจินลงไปในส่วนผสม เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นสีชนิดนี้จะละลายออกมากับปริมาณน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่าง ส่งผลให้สีของไส้กรอกจางลงสอดคล้องกับค่า a^* และ b^* ที่ลดลง ค่า A_w มีค่าเท่ากับ 0.97 ($p>0.05$) เนื่องจากถุงพลาสติก

ที่ใช้บรรจุตัวอย่างในครั้งนั้นผลิตจากพลาสติกชนิด PE/PET ซึ่งมีคุณสมบัติในการป้องกันการซึมผ่านของความชื้นและก๊าซ [34] สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าไส้กรอกเวียนนาลดไนโตรที่ที่มีส่วนผสมของสารสกัดจากแก่นฝางซึ่งเก็บถนอมโดยใช้เฮอร์เดลเทคโนโลยี สูตรที่ 1 (ไนโตรที่ 125 ppm สูตร T2 ใช้ไนโตรที่ 75 ppm ร่วมกับสารสกัดจากแก่นฝางร้อยละ 3) มีค่าปริมาณน้ำอิสระคงที่ (0.98) ตลอดอายุการเก็บรักษาในถุงพลาสติกสุญญากาศ เก็บที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 30 วัน [35] คะแนนการพับของไส้กรอกเท่ากับ 5 คะแนน ($p>0.05$) Purge loss ของไส้กรอกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น โดยในวันที่ 30 มีค่าสูงสุด ($p\leq 0.05$) Purge loss ที่วิเคราะห์ได้ในการทดลองนี้มี

ปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับไส้กรอกไก่ไขมันต่ำ (ร้อยละ 9.71) [36] อาจเนื่องมาจากสมบัติที่ดีในการเป็นสารให้ความคงตัวของบุกที่ใช้ในการผลิตไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าว จึงทำให้ไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวสามารถกักเก็บน้ำไว้ในผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษาได้ดี

ผลการวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสดัง Figure 2 พบว่า ค่าความแข็งของไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ($p \leq 0.05$) โดยเห็นได้ชัดในวันที่ 10 และมีค่าสูงสุดในวันที่ 30 สอดคล้องกับค่า Purge loss ดัง Table 5 ที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา และในวันที่ 30 มีค่าสูงสุดคือร้อยละ 2.75 (Figure 2 (a)) ระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้น้ำที่ถูกกักเก็บไว้ซึมออกมาจากโครงข่ายเจล ดังนั้นน้ำที่ทำหน้าที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ (Plasticizer) ของระบบน้อยลง [34] ส่งผลให้ค่าความแข็งสูงขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ Andrés et al. (2006) [36] พบว่า ค่าความแข็งของผลิตภัณฑ์ไส้กรอกไก่ที่บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทสูญญากาศที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียสมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า

ปริมาณน้ำที่แยกตัวออกจากตัวอย่างเพิ่มขึ้น นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Kailomsom (2015) [37] พบว่า ลูกชิ้นอกไก่ที่ใช้เจลาบุกเป็นสารทดแทนไขมัน 3 ระดับ คือ ร้อยละ 0 50 และ 100 โดยน้ำหนักของไขมัน มีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานาน 7 วัน ค่าความยืดหยุ่นและค่าความสามารถในการยึดเกาะกันของตัวอย่าง T4 มีค่าอยู่ระหว่าง 0.81-0.83 มิลลิเมตร และ 0.65-0.66 ตามลำดับ (Figure 2 (b) และ (c)) เนื่องจากบุกมีองค์ประกอบของกลูโคแมนแนนซึ่งทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความหนืด ทำให้เกิดเจล ช่วยให้อิมัลชันมีความคงตัว [38] ส่งผลให้เจลาบุกมีค่าความสามารถในการเกาะตัวกัน และมีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา ค่าแรงตัดขาดของตัวอย่าง T4 เพิ่มขึ้นตั้งแต่วันที่ 10 เป็นต้นไป โดยมีค่าสูงสุดในวันที่ 30 ($p \leq 0.05$) (Figure 2 (d)) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Herranz et al. (2024) [39] พบว่า เจลาบุกที่มีการใช้ต่าง 2 ชนิด คือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 2 ระดับคือ 0.6 และ 1 N มีค่า Breaking force เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษานานถึง 10 วัน

Table 6 The storage period on physical properties of the reduced-fat rice protein-based sausage

Days	L^* ^{ns}	a^*	b^*	a_w^{ns}	Folding test ^{ns}	Purge loss (%)
0	57.75±0.07	23.81±0.14 ^a	40.54±0.28 ^a	0.97±0.00	5.00±0.00	0.21±0.00 ^f
5	57.74±0.01	23.55±0.12 ^{ab}	40.06±0.14 ^{ab}	0.97±0.00	5.00±0.00	0.84±0.01 ^e
10	57.79±0.47	22.33±0.49 ^{bc}	39.03±0.08 ^b	0.97±0.00	5.00±0.00	0.99±0.06 ^d
15	57.80±0.22	22.07±0.40 ^c	39.05±0.64 ^b	0.97±0.00	5.00±0.00	1.13±0.04 ^c
20	57.78±0.84	21.98±0.35 ^c	39.00±0.59 ^b	0.97±0.00	5.00±0.00	1.20±0.03 ^c
25	58.07±0.66	21.93±0.97 ^c	38.79±0.92 ^b	0.97±0.00	5.00±0.00	2.08±0.06 ^b
30	58.25±1.08	21.90±0.78 ^c	39.06±0.85 ^b	0.97±0.00	5.00±0.00	2.75±0.08 ^a

^{a-d} Means±SD in the same row followed by different superscripts are significantly different ($p \leq 0.05$)

^{ns} Means±SD in the same row are not significantly different ($p > 0.05$)

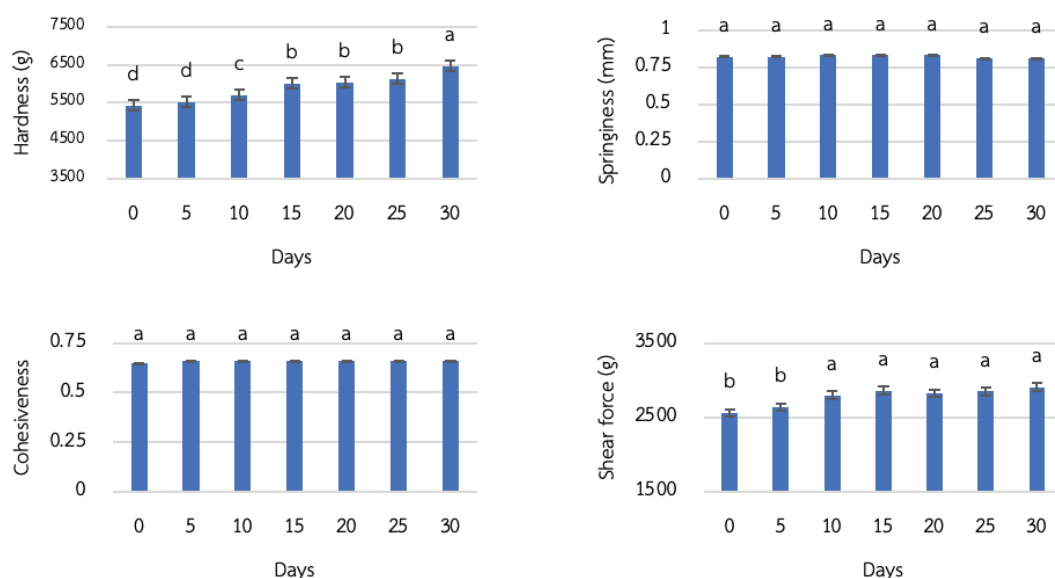


Figure 2 Storage period on textural properties of the reduced-fat rice protein-based sausage

3.2.2 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

จาก Table 7 พบว่า ค่า pH ของตัวอย่างไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวไม่เปลี่ยนแปลงตลอดอายุการเก็บรักษา 30 วัน ($p>0.05$) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 9.10-9.13 ค่า TBA มีค่าอยู่ระหว่าง 0.36-0.41 มิลลิกรัม มาโลนาลดีไฮด์/กิโลกรัม โดยมีค่าต่ำกว่าไส้กรอกไก่ที่มีการเติมผงบัตูร 4 ระดับ (ร้อยละ 0 1 2 และ 3 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษานาน 3 วัน มีค่าอยู่ระหว่าง 3.62-4.5 มิลลิกรัม มาโลนาลดีไฮด์/กิโลกรัม [40] อัตราการเกิดออกซิเดชันต่ำอาจมีสาเหตุจากคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระของเครื่องเทศบางชนิด เช่น พริกไทย ที่เติมลงไปในส่วนผสมและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ [41,42]

Table 7 Storage period on chemical properties of the reduced-fat plant-based sausage from rice protein and konjac powder (dry basis)

Days	pH ^{ns}	TBA (mg malonaldehyde/kg)
0	9.10±0.04	0.41±0.01 ^a
5	9.10±0.04	0.36±0.01 ^b
10	9.12±0.05	0.39±0.01 ^{ab}
15	9.13±0.08	0.36±0.00 ^b
20	9.10±0.01	0.36±0.01 ^b
25	9.10±0.01	0.41±0.01 ^a
30	9.10±0.04	0.36±0.02 ^b

^{a-d}Means±SD in the same column followed by different superscripts are significantly different ($p<0.05$)

^{ns}Means±SD in the same row are not significantly different ($p>0.05$)

3.2.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางประสาทสัมผัส

ผลการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวระหว่างวันที่ 0 และ 15 ดังแสดงใน Figure 3 พบว่าคะแนนการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกด้านไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยมี

คะแนนความชอบในด้านลักษณะปรากฏ สี ความแน่น เนื้อเมื่อเคี้ยว ความยืดหยุ่นเมื่อเคี้ยว ความฉ่ำน้ำ กลิ่นรสชาติในระดับชอบปานกลาง และด้านความชอบโดยรวมอยู่ในระดับชอบปานกลางถึงชอบมาก จะเห็นได้ว่าเมื่อเก็บไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวไป 15 วัน ที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ไส้กรอกยังเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค

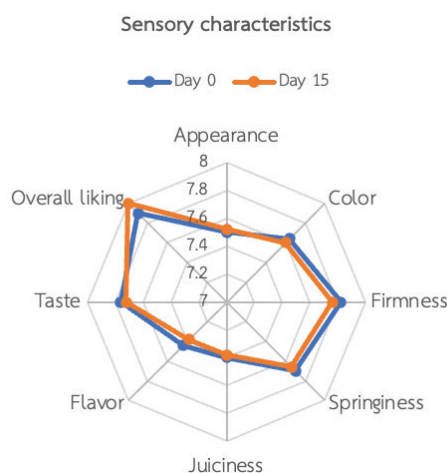


Figure 3 Storage period on sensory characteristics of the reduced-fat rice protein-based sausage

3.2.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

จาก Table 8 พบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดมีจำนวนสูงสุดเท่ากับ 3.7×10^2 CFU/g ในวันที่ 20 ปริมาณ *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* อยู่ในเกณฑ์ที่ประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 416 (พ.ศ. 2563) [43] กำหนด สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของ *Salmonella spp.* คืออุณหภูมิ 5.2-46.2 ค่า pH 3.8-9.5 [44] *Staphylococcus aureus* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ค่า pH 7-7.5 [45] *Bacillus cereus* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30-40 องศา

เซลเซียส ค่า pH 6-7 [46] และ *Clostridium perfringens* เจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 43-45 องศาเซลเซียส ค่า pH 6-7 [47] แต่ในการทดลองครั้งนี้ไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวถูกเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ± 2 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ใช่สภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้ นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตไส้กรอกมีการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 85-89 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่จะช่วยทำลายแบคทีเรียที่ทำให้เกิดโรคและลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ทำให้เสื่อมเสียได้ รวมถึงค่า pH ของตัวอย่าง T4 ที่ผลิตได้มีค่าประมาณ 9 ไม่ใช่สภาวะที่ดีในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้

Table 8 Storage period on microbiological characteristics of the reduced-fat plant-based sausage from rice protein and konjac powder

Microbiological quality	Days							Standard*
Total plate count (CFU/g)	0	5	10	15	20	25	30	-
<i>Salmonella spp.</i>	1.3×10 ²	<10	35	15	3.7×10 ²	75	<10	Not detect in 25 g
<i>Staphylococcus aureus</i> (CFU/g)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	Less than 100 in 1 g (CFU /g)
<i>Bacillus cereus</i> (CFU/g)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	Less than 500 in 1 g (CFU /g)
<i>Clostridium perfringens</i> (CFU/g)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	Less than 100 in 1 g (CFU /g)

*Thailand' s Ministry of Public Health Announcement No. 416 (B.E. 2563)

4. สรุป

ผลของการลดปริมาณน้ำมันรำข้าวโดยการใช้ผงบุกผสมน้ำที่ปรับค่า pH 12 เพื่อเป็นสารทดแทนไขมันในการผลิต ไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวไม่ส่งผลต่อค่า $L^* a^* b^*$ A_w คะแนนการพับ ลักษณะเนื้อสัมผัส แบบ TPA ได้แก่ ค่าความแข็ง ค่าความสามารถในการยืดเกาะกัน ค่าความยืดหยุ่น ค่าแรงตัดขาดและค่า pH เมื่อมีการลดปริมาณน้ำมัน รำข้าวเพิ่มขึ้นปริมาณความชื้นและโปรตีนเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า WHC และปริมาณไขมันลดลง โดยสามารถลดไขมันได้สูงสุดคือร้อยละ 36 (T4) เมื่อเปรียบเทียบกับสูตร Control และยังมีคุณภาพทางประสาทสัมผัสทุกด้านไม่แตกต่างกับสูตร Control ในขณะเดียวกันเมื่อเก็บรักษาไส้กรอกนานขึ้น ไส้กรอกมีสีซีดลง ค่าความแข็งและค่าแรงตัดขาดเพิ่มขึ้น Purge loss เพิ่มขึ้นร้อยละ 2.75 ในขณะที่ค่า pH และค่า TBA ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ไม่พบ *Salmonella spp.* ในตัวอย่างปริมาณ *Staphylococcus aureus* *Bacillus cereus* และ *Clostridium perfringens* ของตัวอย่างไส้กรอกอิมัลชันลดไขมันจากโปรตีนข้าวมีค่าน้อยกว่า 10 CFU/g ซึ่งไม่เกินค่ามาตรฐานอาหารด้านจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

ของผลิตภัณฑ์อาหารพร้อมบริโภค กลุ่มอาหารปรุงสุกแช่เย็นกำหนดไว้ ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 416) พ.ศ. 2563

5. References

- [1] Choudhury, N.R., Plant-Based Sausages Market Outlook, Available Source: <https://www.futuremarketinsights.com/reports/plant-based-sausages-market>, June 8, 2024.
- [2] He, J., Evans, N.M., Liu, H. and Shao, S., 2020, A review of research on plant-based meat alternatives: Driving forces, history, manufacturing, and consumer attitudes, Compr. Rev. Food Sci. Food Saf. 19(5): 2639-2656.
- [3] Mazumder, M.A.R., Sujintonniti, N., Chaum, P., Ketnawa, S. and Rawdkuen, S., 2023, Developments of plant-Based emulsion-type sausage by using grey oyster mushrooms and Chickpeas, Foods. 12(8):1564.

- [4] Qin, P., Wang, T. and Luo, Y., 2022, A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development, *J. Agric. Food Res.* 7:100265.
- [5] Yang, J., Meng, D., Wu, Z., Chen, J. and Lu X., 2023, Modification and solubility enhancement of rice protein and its application in food processing: A review, *Molecules.* 28(10): 4078.
- [6] Tian, J., Ogawa, Y., Singh, J. and Kaur, L., 2023, *Science of Rice Chemistry and Nutrition*, Springer Imprint, Gateway East, 293 p.
- [7] Jayaprakash, G., Bains, A., Chawla, P., Fogarasi, M. and Fogarasi, S., 2022, A narrative review on rice proteins: current scenario and food industrial application, *Polymers.*14(15): 3003.
- [8] Mun, S., Shin, M. and Kim, Y.R., 2016, Emulsifying properties of proteins isolated from various rice cultivars, *Food Bioproc. Tech.* 9: 813-821.
- [9] Rozali, Z.F., Purwani, I.E.Y., Palupi, N.S. and Suhartono, M.T., 2019, Production of protein hydrolysate from broken rice by crude bromelain enzyme in different conditions, *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.* 4(6): 431-434.
- [10] Burris, R.L., Xie, C.H., Thampi, P., Wu, X., Melnyk, S.B. and Nagarajan., 2010, Dietary rice protein isolate attenuates atherosclerosis in apoE-deficient mice by upregulating antioxidant enzymes, *Atherosclerosis.* 212(1): 107-115.
- [11] Roy, T., Singh, A., Sari, T.P. and Homroy, S., 2023, Rice protein: emerging insights of extraction, structural characteristics, functionality, and application in the food industry, *J. Food Compos. Anal.* 123: 105581.
- [12] Pegg, A.M., 2012, *The Application of Natural Hydrocolloids to Foods and Beverages*, pp. 175-196, In Baines, D. and Seal, R. (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Natural Food Additives, Ingredients and Flavourings*, Woodhead Publishing, United States.
- [13] Sorapukdee, S., 2018, *Food Ingredients and Additives in Meat Products*, Department of Animal Production Technology and Fisheries, King Mongkut's of Technology Ladkrabang, Bangkok, 306 p. (in Thai)
- [14] Luo, W., Liu, F., Qi, X. and Dong, G., 2022, Research progress of konjac dietary fibre in the prevention and treatment of diabetes, *Food Sci. Technol.* 42: e23322.
- [15] Takigami, S., 2021, *Konjac Glucomannan*, pp. 563-577, In Phillips, G.O. and Williams, P.A. (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Handbook of Hydrocolloids*, Woodhead Publishing, United States.
- [16] Tunieva, E.K., Spiridonov, K.I. and Nasonova, V.V., 2021, A study on the synergetic interaction of kappa-carrageenan with konjac gum, *IOP Conf. Ser: Earth Environ. Sci.* 640(5): 052012.

- [17] Ding, Y, Process for Creating a Thermo-irreversible Konjac Gel Food US 2007/0065558 A1, Available Source: <https://patents.google.com/patent/US20070065558A1/en>, June 8, 2024.
- [18] Kyriakopoulou, K., Keppler, J.K. and van der Goot, A.J., 2021, Functionality of ingredients and additives in plant-based meat analogues, *Foods*. 10(3): 1-29.
- [19] Wang, J., He, Z. and Raghavan, V., 2023, Soybean allergy: characteristics, mechanisms, detection and its reduction through novel food processing techniques, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 63(23): 6182-6195.
- [20] Corrêa, P.F., Silva, C.F., Ferreira, J.P. and Guerra, J.M.C., 2023, Vegetable-based frankfurter sausage production by different emulsion gels and assessment of physical-chemical, microbiological and nutritional properties, *Food Chem. Adv.* 3: 100354.
- [21] Feng, C.H., 2022, Quality evaluation and mathematical modelling approach to estimate the growth parameters of total viable count in sausages with different casings, *Foods*. 11(5): 634.
- [22] Jommark, N., Chantaratheptimakul, S. and Ratanaarporn, P., 2020, Effect of soy protein isolate and sodium caseinate used as phosphate replacer on physical and sensory characteristics of pork/chicken sausage, *J. Sci. Technol. Rajamangala Univ. Technol. Krungthep.* 1(2): 1-11. (in Thai)
- [23] Kamani, M.H., Meera, M.S., Bhaskar, N. and Modi, V.K., 2019, Partial and total replacement of meat by plant-based proteins in chicken sausage: evaluation of mechanical, physico-chemical and sensory characteristics, *J. Food. Sci. Technol.* 56(5): 2660-2669.
- [24] Noguerol, A.T., Larrea, V. and Pagan, M.J., 2022, The effect of psyllium (*Plantago ovata* Forsk) fibres on the mechanical and physicochemical characteristics of plant-based sausages, *Eur. Food Res. Technol.* 248(10): 2483-2496.
- [25] AOAC., 2000, Official Methods of Analysis of AOAC International. 17 Edition, The Association of Official Analytical Chemists, United States.
- [26] Majzoobi, M., Talebanfar, S., Eskandari, M.H. and Farahnaky, A., 2017, Improving the quality of Meat-free sausages using K-carrageenan, konjac mannan and xanthan gum, *Int. J. Food Sci. Technol.* 52(5): 1269-1275.
- [27] Normah, I. and Nur Syuhadah, M., 2019, Comparative study on the physicochemical characteristics of chicken sausage incorporated with sutchi catfish (*Pangasius hypophthalmus*) gelatin, carrageenan and pectin, *Food Res.* 3(5): 477-483.
- [28] Muthia, D., Huda, N. and Noryati, I., 2010, The effects of tapioca, wheat, sago and potato flours on the physicochemical and sensory properties of duck sausage, *Int. Food Res. J.* 17(4): 877-884.

- [29] Zhou, X., Zhang, C., Zhao, L., Zhou, X., Cao, W. and Zhou, C., 2022, Effect of pre-emulsion of pea-grass carp co-precipitation dual protein on the gel quality of fish sausage, *Foods*. 11(20): 3192.
- [30] Koç, M., Koç, B., Susyal, G., Yilmazer, M.S., Bağdatlıoğlu, N. and Kaymak-Ertekin, F., 2011, Improving functionality of whole egg powder by the addition of gelatine, lactose and pullulan, *J. Food. Sci.* 76(9): S508-S515.
- [31] Zambrano, M.V., Dutta, B., Mercer, D.G., MacLean, H.L. and Touchie, M.F., 2019, Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review, *Trends. Food. Sci. Technol.* 88: 484-496.
- [32] Hamada, J.S., 1997, Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization, *Cereal Chem.* 74(5): 662-668.
- [33] Ran, X., Lou, X., Zheng, H., Gu, Q. and Yang, H., 2022, Improving the texture and rheological qualities of a plant-based fishball analogue by using konjac glucomannan to enhance crosslinks with soy protein, *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 75(3): 102910.
- [34] Nisticò, R., 2020, Polyethylene terephthalate (PET) in the packaging industry, *Polym. Test.* 90: 106707.
- [35] Olanwanit, W. and Rojanakorn, T., 2019, Storage Stability of Reduced-Nitrite Vienna Sausage Containing Fang Extract Powder Preserved by Hurdle Technology, The 20th National Graduate Research Conference, 2103 p. (in Thai)
- [36] Andrés, S.C., García, M.E., Zaritzky, N.E. and Califano, A.N., 2006, Storage stability of low-fat chicken sausages, *J. Food Eng.* 72(4): 311-319.
- [37] Kailomsom, S., 2015, Product development of reduced fat chicken holy basil sausage using konjac flour in combination with xanthan gum, *J. Agric.* 31(1): 77-87. (in Thai)
- [38] Sarteshnizi, R.A., Hosseini, H., Amin, M.K. and Narges, K., 2015, A review on application of hydrocolloids in meat and poultry products, *Int. Food Res. J.* 22(3): 872-887.
- [39] Herranz, B., Tovar, C.A., Solo-de-Zaldivar, B. and Borderías, A.J., 2024, Effect of alkalis on konjac glucomannan gels for use as potential gelling agents in restructured seafood products, *Food Hydrocoll.* 27(1): 145-153.
- [40] Swastike, W., Suryanto, E., Rusman, R., Hanim, C., Jamhari, Erwanto, Y. and Jumeri., 2021, The quality properties, thiobarbituric acid (TBA) values and microstructure of chicken sausage with local red beetroot powder, *Food Res.* 5: 113-119.

- [41] Triki, M., Herrero, A.M., Jiménez-Colmenero, F. and Ruiz-Capillas, C., 2013, Storage stability of low-fat sodium reduced fresh merguez sausage prepared with olive oil in konjac gel matrix, *Meat Sci.* 94(4): 438-446.
- [42] Martini, S., Cattivelli, A., Conte, A. and Tagliazucchi, D., 2021, Black, green, and pink pepper affect differently lipid oxidation during cooking and *in vitro* digestion of meat, *Food Chem.* 350(8): 129246.
- [43] Ministry of Public Health, 2020, Thailand's Ministry of Public Health Announcement No. 416 (B.E. 2563), 9 p. (in Thai)
- [44] Bell, C. and Kyriakides, A., 2009, 18 - Salmonella, pp. 627-674, In Blackburn C.d.W. and McClure, P.J. (Ed.), *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Foodborne Pathogens* (2nd Ed), Woodhead Publishing, United States.
- [45] Hudson, J.A., 2014, Microbiological Safety of Meat | *Staphylococcus Aureus*, pp. 376-381, In Dikeman, M. and Devine, C. (Ed.), *Encyclopedia of Meat Sciences*, Academic press, United Kingdom.
- [46] El-Arabi, T.F. and Griffiths, M.W., 2021, Chapter 26 - *Bacillus cereus*, pp. 431-437, In Morris, J.G. and Vugia, D.J. (Ed.), *Foodborne Infections and Intoxications* (5th Ed), Academic press, United Kingdom.
- [47] Labbe, R., Juneja, V.K. and Blaschek, H.P., 2014, Clostridium | *Clostridium perfringens*, pp. 437-467, In Batt, C.A. and Tortorello, M.L. (Ed.), *Encyclopedia of Food Microbiology* (2nd Ed), Academic Press, United Kingdom.